

水蒸気灌漑法による作物栽培

田中 明

佐賀県唐津市松南町 152-1 佐賀大学海浜台地生物環境研究センター

Crop Cultivation using Water Vapor Irrigation Method

Akira TANAKA

Coastal Bioenvironment Center, Saga University,
152-1 Shonan-cho, Karatsu, Saga 847-0021, Japan

要 約

本研究では自然のエネルギーのみで、地上から高所まで水を輸送するための方法（水蒸気灌漑法）に関する基礎的研究を行った。このために、水面から水蒸気を蒸発させ、気体の状態で高所に輸送し、作物を栽培する必要がある場所で凝縮させ、液体になった水を作物に吸水させる方法を用いた。

高さ 4 m の円筒内を 60℃ に加熱した水を蒸発させ、上端でコマツナを栽培した。収穫したコマツナは正常に生育したことによって、本法は有効であることがわかった。

Summary

In this study, the system with that water is raised only in the natural energy was proposed. In this system, water is evaporated, and is transported through a pipe and condensed at the planting part. The water at the bottom part of the pipe (Height 4m and diameter 15cm) is heated to 60℃. The planted Komatuna normally grew. It is concluded that this vapor irrigation method is valid for crop growth.

(1) 目的

近年、ヒートアイランド現象の軽減や冷暖房費の節約のために屋上緑化や壁面緑化が注目されている。しかし屋上緑化設備の重量を支える屋上の強度が不足していたり、防水設備が不十分で漏水の恐れがあるなど緑化工事が不可能となることが多い。

一方、建物全体を覆うことが出来るような高い樹木があれば緑化を行う必要もなくなるが、適当な高い樹木を選定することも、管理することも難しく、またそのような樹木を植栽するスペースの確保も難しい。

そこで、問題解決の一つの方法として、自然のエネルギーのみで水を地上から高所までくみ上げることが出来る方法、すなわち人工樹木を提案することとした。樹木の根は土壤水から水を吸収し、導管を通じて数十mもの高さの葉から大気中に水を蒸発させている。すなわち言い換えると、自然のエネルギーのみによって地上から数十mの高さまで水をくみ上げている。

樹木が高所まで液状水のままで水を輸送できるメカニズムは「凝集力説」によって次のように説明されている (Milburn 1979、古谷他 1973)。

1) 植物内の液状水は葉肉細胞の毛細管から導管を経由して根の細胞壁における毛細管まで、連続した一つの相として輸送されている。

2) 細胞壁の毛細管の孔は十分に小さく、気液界面 (メニスカス) における表面張力が大きく大気中の空気が細胞内に流入するのを防いでいる。しかし毛細管から水が蒸発することは可能である。

3) 水分子内の凝集と管壁との粘着によって導管と仮導管内においては液状水の柱として連続している。

最近では樹木が高所まで水を輸送できるメカニズムは凝集力説のみでは説明できないとも言われている (Wei et al 1999)。

いずれにしても、蒸発によってもたらされた駆動力によって、水は孔径 1 mm 以下の管内を液状水の形で高所まで輸送されている。電気式揚水ポンプを使用すれば 50 m 程度揚水することは容易であるが、本研究では自然のエネルギーのみで地表から高所まで水を輸送する方法に関する基礎的研究を行った。図-1 に示すように

地上に降った降水を貯水し、貯水部を太陽エネルギーで加熱し、蒸発した水をパイプを通じて高所に輸送する。輸送された水蒸気を必要な場所で凝縮させて、植物の生育に必要な水を根に供給する。従来、土壌中や大気中の水蒸気を冷却・凝縮し液体にして、灌水に使用した例はあるが、本研究のように水蒸気を輸送・凝縮させた作物栽培法は、これまでに提案されたことはない。

本報は、この方法によって作物が栽培可能かについて基礎的な実験を行った。

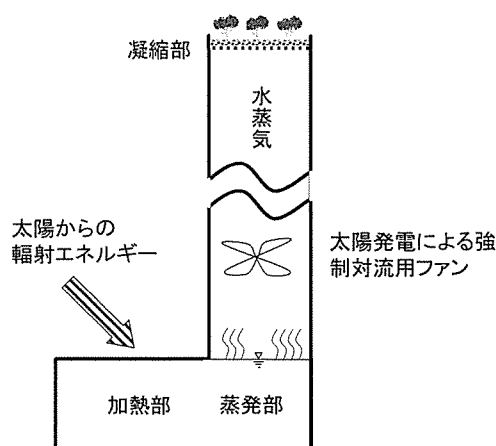


図-1 水蒸気灌漑法の原理

(2) 実験方法

実験装置を図-2 に、装置を写真-1、-2 に示す。

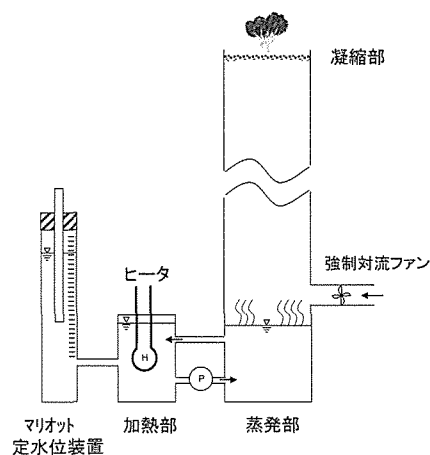


図-2 水蒸気灌漑法の実験装置

内径 14cm、外径 15cm、長さ 102.5cm のアクリル円筒を 4 本連結 (蒸発円筒) し、下端に水深 20cm の水を貯めた。この蒸発円筒に塩ビ製の円筒水槽 (加熱部) を連結し、投げ込み式ヒー

タで 60℃に加熱した。蒸発円筒内の貯水中の水温が均一になるように、ポンプを用いて加熱部と蒸発部との間で水を循環させた。

水面からの蒸発を促進させるために、蒸発円筒の下部に空気流入用円筒（直径 4 cm）を取り付けてファン（ミネベア社製 プラシレス ファン モータ Model 2406GL-04W-B30）を用いて外部から空気を流入（流入空気量 8.6 リットル/分）させ、強制対流を促進させた。ファンによる送風をせずに自然対流のみで蒸発させたが、蒸発量はわずかであり、作物の生育には不十分であった。

蒸発円筒の上部には、孔径 2 mm のメッシュ付きの金属製円筒を凝縮部として取り付けた。この円筒に粒径 5 mm 程度のボラ土を厚さ 8 mm に詰め、さらにその上に孔径 4 mm 程度の小孔が多数開いた厚さ 1 mm のステンレス製円盤を載せた。加熱部にマリOTT 定水位装置をつなぎ、供給水量から蒸発量を測定した。

凝縮部のボラ土に 2007 年 10 月 30 日にコマツナを播種した。施肥は大塚ハウスの A 処方の液肥を適宜行った。また植物育成用 LED（やまと興業社製 LED アームライト 2.4W 5 台）を用いて人工照明した。

実験は佐賀大学海浜台地生物環境研究センターの階段室で行った。室温は 15～20℃、湿度は 35～55% であった。

（3）結果および考察

当初は、強制対流のための風量、加熱水温、凝縮部の構造などを様々に変えて試行的に蒸発

実験を行った。この結果、本報で使用した実験条件の場合は作物栽培可能であった。さらに適当な実験条件があると思われるが、今後の検討課題である。まずコマツナが正常に生育したことを確認したあとで、追認実験を行った。栽培実験の様子を写真－3 に示す。

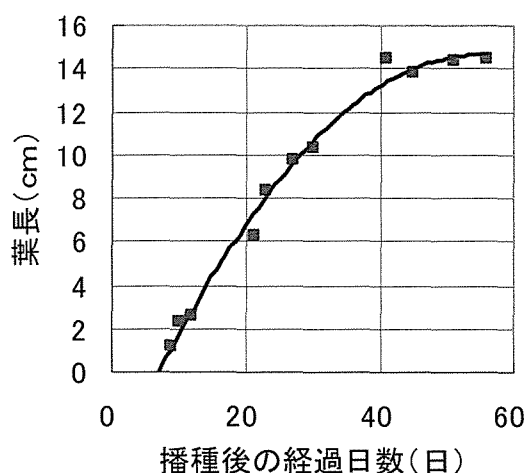
2008 年 12 月 26 日に収穫したコマツナの乾燥重量は合計 11 株で、総乾燥重量は 5 グラム、葉長は平均 10～18 cm であった。図－3 は一枚の葉の長さの経日変化である。

通常コマツナは播種後、高温期で 20～30 日、低温期で 40～60 日で、葉長が 15～25 cm になった時に収穫するので、本実験の場合、正常に生育したものと判断した。

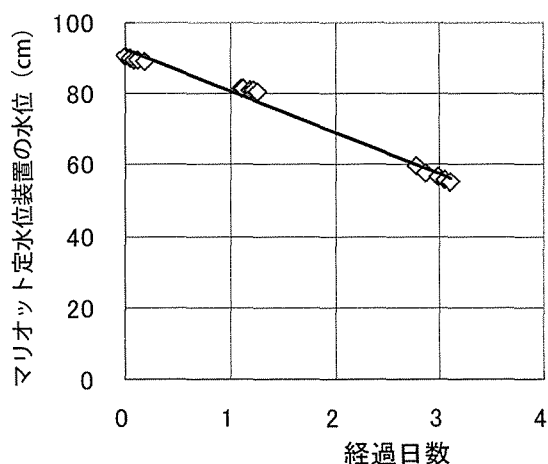
マリOTT 定水位装置によって測定した蒸発速度は 10～20 mm/day であった。この量はコマツナの生育に必要な蒸発散量を十分満たしていると思われる。

コマツナの根は凝縮円筒のメッシュを突き抜けて、蒸発円筒内の空間に伸びていた。また根の周りには凝縮した水滴が付着しているのが観察された。この円筒内に伸びた根による吸水量は大きいと思われる。したがって、水蒸気灌漑法で作物を栽培する場合、あらかじめ水耕栽培によって水中に根を伸展させておき、その後に蒸発円筒の上部に移殖することも考えられる。

蒸発速度をさらに大きくするためには、加熱水温、強制対流用の風量、流入空気の気温や湿度、凝縮円筒の構造などの影響について検討する必要がある。図－4 は凝縮円筒を取り除いて、水温 60℃ で蒸発実験を行った結果である。この



図－3 葉長の経日変化



図－4 蒸発速度の経日変化

ときの流入空気の流入速度は 1.5m/sec、温度は 15～17℃、湿度は 45～55%であった。蒸発円筒の上端における湿度は 50～60%、上端から 1 m の深さでは 95%以上の湿度であった。蒸発量は 11mm/日であった。水温を 40℃にした場合の蒸発量は 8.7mm/日であった。

水温 60℃にした場合の蒸発円筒の表面温度を放射温度計によって測定した結果を図-5に示す。水面から 2 m の以上の高さでは、ほぼ一定の温度 15℃で、凝縮部の温度とほぼ同じであった。

冬季には気温が低いので、蒸発円筒全体に水滴が付着していた。付着量が定常になれば、蒸発・

凝縮量に影響することはないと思われる。蒸発円筒全体を断熱すれば、凝縮効率は高くなると思われるが、今後検討する予定である。

絶乾したボラを蒸発部に設置した凝縮円筒に詰めて、重量の変化を測定した結果(図-6)、凝縮した水分量は一日当たり約8グラムの割合で増加し、約2週間で一定の値になる。ボラの含水比は4日経過後には 0.7 になり、同じボラではないが、これまでに測定されたボラの水分特性曲線(田中ら 1993)によると、この含水比に相当する pF 値は 1 以下になる(図-7)。乾燥したボラを詰めて実験を開始した直後の水分は作物の生育には不十分であるので、実験開

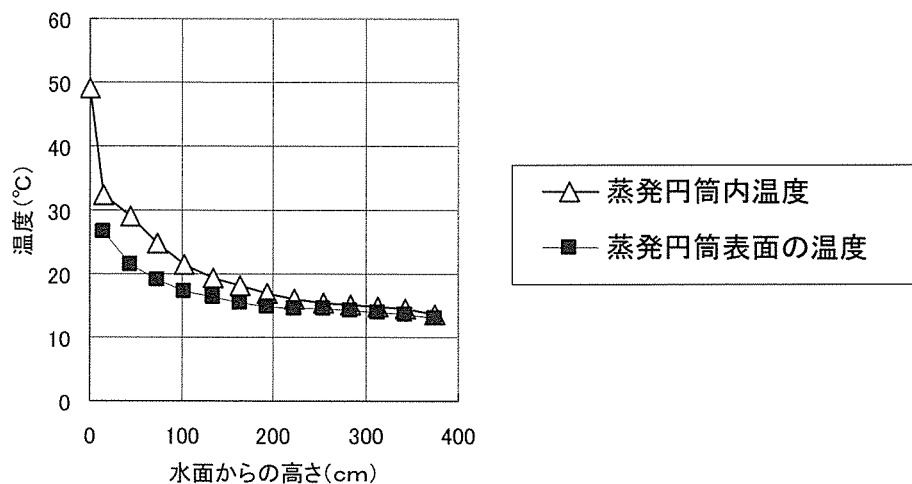


図-5 蒸発円筒内外の温度分布

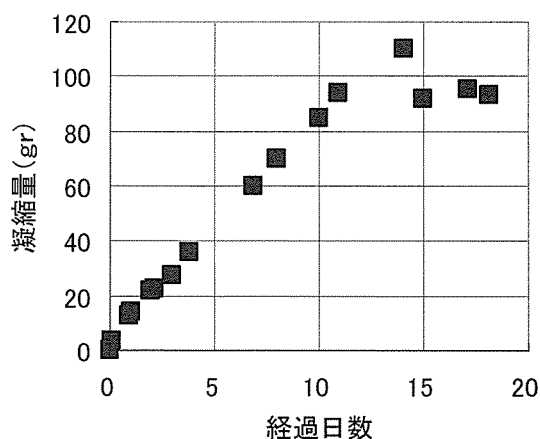


図-6 凝縮量の経日変化

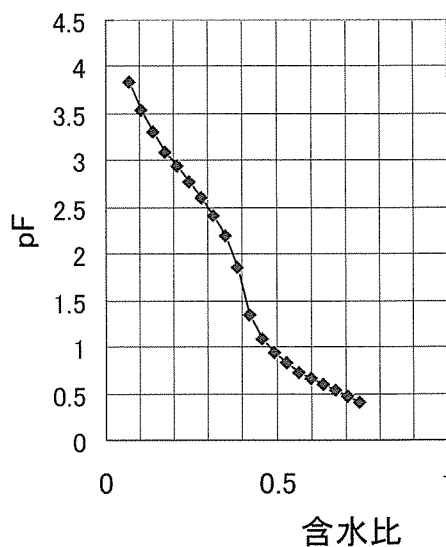


図-7 ボラの水分特性曲線(田中ら、1993)

始直後のみ上方から灌水する必要がある。

今後は凝縮部の凝縮量を増加する方法についても検討する必要がある。基本的に凝縮部では温度をできるだけ低下させ、凝縮した水分を保持させることが必要である。また強制対流を推進するための空気流入量や加熱円筒内の水温は凝縮量に大きく影響すると思われる。

(4) あとがき

本研究で得られた結果は以下の通りである。

1. 水を加熱、蒸発させ、カラム内を輸送させ、必要な場所で凝縮させて、作物栽培する方法を用いて、コマツナを栽培した結果、正常に生育した。
2. 水温 60℃ まで加熱し、外部から空気を流入させると、栽培期間中では一日当たり 10 ～ 20mm の蒸発量が得られた。この値はコマツナが正常生育するに十分な量であった。



写真-1



写真-2



11月9日



11月29日



12月21日

写真-3 (2007 年)

謝辞

本研究の遂行に当たり、有益なアドバイスを戴いた客員研究員の筑紫二郎九州大学教授、実験に際し協力を戴いた佐賀大学農学部の江島咲英さんに謝意を表する。

引用文献

- 1) 古谷雅樹他編 (1973) : 物質の交換と輸送、朝倉書店、東京、133-134
- 2) Milburn, J.H (1979) : Water Flow in Plants, Longman , New York, pp89
- 3) 田中 明、山本太平、井上光弘、林 静夫 (1993) : 遠心法による土壌の保水性と透水性評価指標の決定、日本砂丘学会誌 , 40(1), 7 - 14
- 4) Wei, C, et al. (1999) : Water ascent in plants: do ongoing controversies have a sound basis?, Trends Plant Sci., 4 , pp.372-375